

実用的な手術方式を考慮した最適な肝切除領域推定に関する研究

著者	渡部 椰也
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	272-273
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00129103

修士学位論文要約（令和2年3月）

実用的な手術方式を考慮した最適な肝切除領域推定に関する研究

渡部 椰也

指導教員：張山 昌論

Estimating Optimal Resected Liver Regions
Considering Practical Surgical Methods

Yaya WATANABE

Supervisor: Masanori HARIYAMA

Estimating resected regions is an essential task in preoperative planning for liver surgery. Using the 3D-image, surgeons decide the resected regions manually according to their experiences. This task is not easy for human since liver has complex vessel structure. To solve this problem, this paper presents a system to automatically find the optimal resected region under the surgical practical conditions such as the maximum resected volume in reasonable computational time, for two surgical methods. The evaluation results demonstrate that the proposed system can the results better than or equal to those of surgeons.

1. はじめに

肝臓がんの外科手術において、切除領域を決定するための手術前プランニングは3次元画像解析ソフトウェアを用いて行われる。切除領域は腫瘍が血管に基づいて転移する性質により決定されるが、肝臓の血管構造は非常に複雑であり、医師が最適な切除領域を見つけ出すのは容易ではない。結果として医師の腕によって切除領域が変わってしまうため、安全性が保証されていないのが現状である。更に、肝臓がんの切除領域のプランニングには数時間から半日ほどかかり、医師への負担が非常に大きいといえる。本稿では腫瘍の転移の性質からアルゴリズムを設計し、手術における制約や、手術方式を考慮した最適な切除領域を高速に計算する手法を提案する。

2. 系統的切除領域推定アルゴリズム

系統的切除とは、腫瘍が肝臓の深部にあり血流の流れに合わせて切除する方式である。医師は肝臓の手術前プランニングの際にはある医学的理論に基づき切除領域を決定する。腫瘍には、最も距離の近い門脈と呼ばれる血管から栄養をもらい成長し、さらにその下流方向へ転移するという性質がある。この性質から腫瘍の再発リスクのある領域を推定することができ、この領域を支配領域と呼ぶ。全体の切除領域を決定するためには、門脈の切除点（通常は複数）を決定し、その支配領域の和集合をとればよい。

従来の系統的切除では、3次元画像解析ソフトウェアを用いて選択した門脈の切除点の下流部分が腫瘍を覆うまで門脈の選択を繰り返すことで切除領域を決定している。この手法の問題点としては、目視で

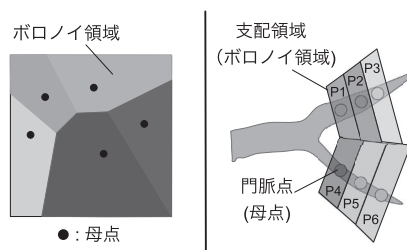
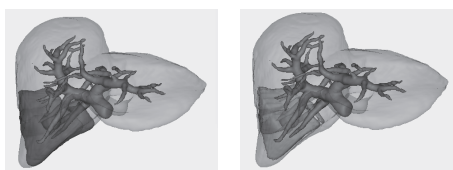


図 1. ボロノイ図と支配領域の関係

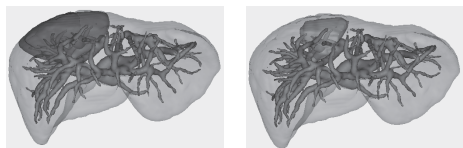
は腫瘍から距離の近い門脈がわかりづらく、腫瘍に関わりのある領域を把握できていない可能性が挙げられる。そこで、提案手法では切除を行う門脈を腫瘍支配率（以後 TDR ）¹⁾を用いて決定する。これは切除点から末端までの門脈が腫瘍に栄養を与える割合であり、 TDR が0よりも大きいものを選択することで腫瘍に影響を与えている門脈を見つけることができる。さらにボロノイ図²⁾(図1)のアルゴリズムを用いて切除する門脈をもとに支配領域を算出する。また、現実的な切除領域を算出するためにはつぎの4つの条件を考慮する必要がある。1つ目は門脈の太さ・分岐点を考慮した切除点の設定である。これはCT画像上では血管が抽出されていても、手術中に目視で確認できないような細い血管や血管の分岐の中間点が切除点として設定される場合があるため、一定の太さでかつ分岐点までさかのぼった点を切除点とする。2つ目は肝機能に応じた体積制約の考慮である。手術で肝臓を大きく切りすぎると術



(a) 医師の結果

(b) 提案手法の結果

図 2. 患者 1 の系統的切除の結果



(a) 医師の結果

(b) 提案手法の結果

図 3. 患者 2 の系統的切除の結果

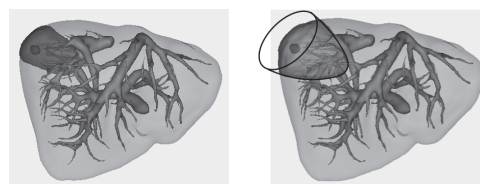
後に肝不全になるケースがあるため、患者の病状に応じて切除許容体積を定める．3つ目は複数腫瘍への対応である．各腫瘍に対して適切な術式を選択できるユーザーインターフェースを作成する．4つ目は静脈の考慮である．静脈を切除すると、その切除点から下流部分の機能が弱くなり、この領域のことを鬱血領域と呼ぶ．この領域を可視化することで肝臓に負担を与える領域を確認する．

系統的切除アルゴリズムを用いて推定した結果を図 2, 3 に示す．医師の結果として、勤続 15 年の外科医の推定結果を用いた．提案手法では計算時間は数十秒から数百秒程度で、切除領域は医師の結果と同等もしくはそれ以上の性能の結果を得られた．

3. 部分切除領域推定アルゴリズム

部分切除とは、腫瘍が肝臓の表面近くにある場合に行われる切除方式である．従来の部分切除では、腫瘍の周りに一定のマージンを取り、スプーンでスクレイピングのような形状で切除を行っている．この手法の問題点として、肝臓表面近くの門脈は目視では認識できない程度に細いため、切除箇所を決定する際に指標にできる門脈がなく、腫瘍に関わりのある領域が切除しきれていない可能性が挙げられる．

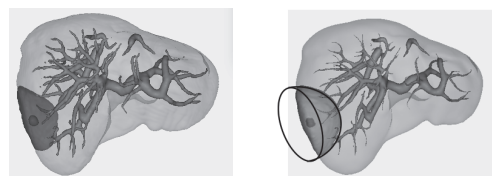
そこで、提案手法では腫瘍支配率の合計が 100% の切除領域 (以後、領域 P) を事前に計算し、領域 P を適切に覆うような最適な楕円放物面³⁾を自動で算出する手法を提案する．楕円放物面の式は $z = A_x x^2 + A_y y^2$ ($A_x, A_y > 0$) と表され、 A_x, A_y は曲率を表す．さらに 3 つの平行移動パラメータと 3 つの軸回りの回転パラメータの合計 8 つのパラメータを自動調整を行い、領域 P を覆い、かつ切除体積が最小となる組み合わせを発見する．具体的な手法はつぎの通りである．はじめに系統的切除アルゴリズムを用いて切除領域推定を行い領域 P を求める．



(a) 医師の結果

(b) 提案手法の結果

図 4. 患者 3 の部分切除の結果



(a) 医師の結果

(b) 提案手法の結果

図 5. 患者 4 の部分切除の結果

次に回転パラメータを調整し領域 P を覆う方向に楕円放物面の姿勢を決定する．最後に平行移動パラメータを変え、その都度楕円放物面の曲率を線形計画法を用いて求め肝臓と楕円放物面の共通領域を切除領域として算出する．平行移動パラメータの調整を繰り返し行い、体積が最小となるパターンを医師に提示する．

部分切除アルゴリズムを用いて推定した結果を図 4, 5 に示す．計算時間は数百秒程度で、腫瘍に関わりのある領域を切除しつつ、切除体積は医師の推定結果よりも大きいものの、切りやすい楕円放物面の形状での切除領域を提案することができた．

4. まとめ

医学的理論に基づき設計したアルゴリズムを用いて肝臓外科手術における最適切除領域推定システムの構築を行った．従来の手術前プランニングでは数時間から半日かかっていたが、提案手法では数百秒程度で医学的理論に基づいた適切な切除領域の候補を提示することができた．

文献

- 1) M.Hariyama and M.Shimoda, "Automatic estimation of a resected liver region using a tumor domination ratio", in "Emerging Trends in Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition", Chapter 23(pp.369–378), Morgan Kaufmann Publishers (2015).
- 2) T. Takamoto, et al., "Planning of anatomical liver segmentectomy and subsegmentectomy with 3-dimensional simulation software", The American Journal of Surgery Vol. 206, Issue 4, pp. 530-538 (2013).
- 3) 高本健史 他「えぐる肝切除の default 設定 (非解剖学的肝切除標準化の提案)」第 7 回肝癌治療シュミレーション研究会